

10/579657 17 MAY 2006

**TRANSDUCTEUR ULTRASONORE DE CONTACT, A MULTIPLES  
ELEMENTS EMETTEURS ET MOYENS DE PLAQUAGE DE CES  
ELEMENTS**

5

**DESCRIPTION**

**DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne un transducteur ultrasonore de contact, à multiples éléments émetteurs d'ultrasons.

10

Elle s'applique notamment à la médecine et au contrôle non destructif de pièces mécaniques, en particulier de pièces ayant une forme complexe ou un état de surface irrégulier, par exemple du fait d'un meulage ou d'un ajout local de matière.

15

**ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Lors de l'examen de certaines pièces par des ultrasons, on est amené à placer un transducteur ultrasonore sur un matériau dont la forme (géométrique) superficielle évolue suivant la zone considérée du matériau.

20

Dans ce cas, le couplage acoustique entre les matériaux et la face avant du transducteur n'est pas optimal et les caractéristiques acoustiques des faisceaux ultrasonores transmis ne sont plus conservées. La qualité des inspections est alors dégradée.

25

Les techniques classiques ne permettent donc pas de contrôler complètement des pièces dont la géométrie varie.

30

À titre d'exemple, des variations géométriques telles que des coudes ou des piquages sont fréquentes sur les circuits de tuyauterie. Or, ce sont souvent les parties présentant de fortes variations  
5 géométriques qui sont soumises aux plus fortes contraintes mécaniques et nécessitent donc les contrôles les plus fréquents.

Afin d'optimiser le contrôle de telles zones, on a développé un transducteur ultrasonore,  
10 capable de s'adapter à des pièces de formes quelconques.

On a d'abord cherché à garantir un couplage optimal entre ce transducteur et la surface d'une pièce. Pour ce faire, on a remplacé un transducteur  
15 monolithique par un ensemble de transducteurs élémentaires indépendants, cet ensemble étant capable de se déformer au contact de la surface de la pièce. On a ainsi amélioré le contact du transducteur avec la surface de la pièce à contrôler.

20 Il convient de noter que les transducteurs élémentaires constituent un réseau (« array ») à éléments multiples dont on doit déterminer les différentes caractéristiques acoustiques

Ensuite, il faut transmettre, dans la pièce  
25 contrôlée, des ondes ultrasonores ayant les caractéristiques (angle de réfraction et profondeur de focalisation dans la pièce) requises pour le contrôle. On impose alors des retards d'émission aux éléments du transducteur, par des moyens électroniques appropriés,  
30 afin de former le faisceau ultrasonore souhaité.

Puis on somme les signaux électriques fournis par des capteurs ultrasonores dont on munit le transducteur, ces capteurs pouvant être les éléments mentionnés plus haut, que l'on utilise alors en tant  
5 que récepteurs élémentaires d'ultrasons.

Pour calculer les retards, qui dépendent de la géométrie et du matériau constitutif de la pièce contrôlée et des caractéristiques recherchées pour le faisceau ultrasonore, et pour reconstruire le signal  
10 d'excitation des émetteurs élémentaires, on utilise des logiciels de simulation qui sont intégrés dans les moyens électroniques de commande du transducteur.

Il faut aussi connaître la forme de la surface de la pièce (qui est *a priori* inconnue). Pour  
15 ce faire, on munit le transducteur de moyens aptes à fournir des données qui permettent de connaître la géométrie locale de la pièce contrôlée. Ces données sont injectées en temps réel dans les moyens de commande du transducteur et les lois de retard  
20 correspondantes sont recalculées. On obtient ainsi un transducteur adaptatif que l'on peut considérer comme « intelligent ».

Un tel transducteur est connu par le document suivant auquel on se reportera :

25

[1] WO 00/33292 A, « Transducteur ultrasonore de contact, à éléments multiples », correspondant à US 6 424 597 A.

30 On connaît aussi des transducteurs ultrasonores flexibles par les documents suivants :

[2] US 5 913 825 A, « Ultrasonic probe and ultrasonic survey instrument », correspondant à JP 10 042 395 A

5

[3] US 5 680 863 A, « Flexible ultrasonic transducers and related systems ».

Cependant, les transducteurs connus par les documents [1] à [3] ne permettent pas de conserver un couplage optimal entre eux et des pièces complexes, surtout lorsque ces transducteurs sont déplacés à la surface de telles pièces.

## 15 EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de remédier à cet inconvénient.

Pour ce faire, la présente invention propose un transducteur ultrasonore de contact, à éléments multiples, ce transducteur étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de plaquage des éléments sur la surface d'un objet à contrôler et des moyens de détermination des positions des éléments par rapport à l'objet, par l'intermédiaire des moyens de plaquage des éléments, et en ce que chaque élément est au moins émetteur d'ultrasons et les éléments émetteurs sont rigides et assemblés mécaniquement les uns aux autres, de manière à former une structure articulée.

Aucun des documents [1] à [3] ne divulgue ou ne suggère une telle combinaison de moyens.

En particulier, dans le transducteur divulgué par le document [1], rien n'est prévu pour maintenir les éléments plaqués sur l'objet que l'on contrôle, pendant les déplacements du transducteur lors du contrôle, et assurer le couplage avec l'objet.

Le fait que les éléments multiples du transducteur soient des éléments émetteurs rigides et assemblés mécaniquement les uns avec les autres, de manière à former une structure articulée, conduit à une simplification et une amélioration du couplage entre les émetteurs et à une fiabilité accrue puisque ce couplage est effectué même si un émetteur immédiatement adjacent à un autre est défaillant.

De préférence, le transducteur est déplaçable par rapport à l'objet à contrôler et a une surface émettrice déformable qui est formée par des premières faces des éléments et destinée à être en contact avec la surface de cet objet et à partir de laquelle les ultrasons sont émis vers l'objet, des moyens de commande étant prévus pour engendrer des impulsions d'excitation des éléments émetteurs, les moyens de détermination étant prévus pour définir les positions des éléments émetteurs d'ultrasons par rapport à l'objet au cours du déplacement du transducteur,

des moyens de traitement étant prévus pour

- établir, à partir des positions ainsi déterminées, des lois de retard permettant aux éléments émetteurs d'engendrer un faisceau ultrasonore focalisé, dont les caractéristiques sont maîtrisées par rapport à l'objet, et

- appliquer ces lois de retard aux impulsions d'excitation,

des éléments récepteurs d'ultrasons, éventuellement constitués par les éléments émetteurs, étant destinés à fournir des signaux permettant la formation d'images relatives à l'objet,

les moyens de plaquage étant prévus pour plaquer les éléments émetteurs contre la surface de l'objet et les moyens de détermination étant prévus pour déterminer les positions des éléments émetteurs par rapport à l'objet par l'intermédiaire des moyens de plaquage des éléments émetteurs.

Selon un mode de réalisation préféré du transducteur objet de l'invention, les moyens pour plaquer les éléments émetteurs contre la surface de l'objet comprennent des éléments mécaniques, chaque élément mécanique comprenant une partie qui est mobile par rapport à une partie rigide du transducteur, une première extrémité de cette partie mobile étant apte à presser des éléments émetteurs contre la surface de l'objet,

et les moyens de détermination des positions des éléments émetteurs par rapport à l'objet comprennent

- des premiers moyens prévus pour déterminer les positions des éléments émetteurs par rapport à la partie rigide du transducteur, par mesure de la déformation de la surface émettrice, et pour fournir des signaux représentatifs des positions ainsi déterminées, les premiers moyens comprenant

- des moyens de mesure de distance, prévus pour mesurer la distance d'une deuxième extrémité de la partie mobile de chaque élément mécanique par rapport à une zone de la partie rigide du transducteur et

5                   • des moyens de traitement auxiliaire prévus pour déterminer les positions des éléments émetteurs par rapport à la partie rigide du transducteur, à partir des distances ainsi déterminées,

- des deuxièmes moyens prévus pour

10 déterminer la position et l'orientation de cette partie rigide par rapport à l'objet et pour fournir des signaux représentatifs de la position et de l'orientation ainsi déterminées et

- des troisièmes moyens prévus pour fournir

15 les positions des éléments émetteurs par rapport à l'objet à partir des signaux fournis par les premiers et deuxièmes moyens.

De préférence, la première extrémité de chaque partie mobile est arrondie.

20                   Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la partie rigide du transducteur comporte des trous parallèles, dans lesquels les parties mobiles sont respectivement aptes à coulisser, et chaque élément mécanique comprend en outre des moyens

25 élastiques qui sont aptes à éloigner de la partie rigide la première extrémité de la partie mobile correspondant à cet élément mécanique.

De préférence, chaque élément mécanique comprend en outre, dans le trou qui lui correspond, un

30 moyen (par exemple une douille à billes) dans lequel

est apte à coulisser, à faible frottement, la partie mobile de cet élément mécanique.

Selon un mode de réalisation préféré du transducteur objet de l'invention, les moyens de mesure de distance sont prévus pour mesurer optiquement la distance de la deuxième extrémité de la partie mobile de chaque élément mécanique par rapport à une zone de la partie rigide, comprennent

- des moyens d'émission de lumière fixés à la partie rigide et prévus pour émettre une lumière vers cette deuxième extrémité, cette deuxième extrémité étant apte à réfléchir cette lumière, et

- des moyens de réception de lumière fixés à la partie rigide et prévus pour recevoir la lumière ainsi réfléchie, ces moyens de réception étant aptes à fournir des signaux représentatifs de la distance de cette deuxième extrémité par rapport à la zone correspondante.

Selon un premier mode de réalisation particulier du transducteur objet de l'invention, les moyens d'émission de lumière et les moyens de réception de lumière comprennent respectivement un photo-émetteur et un photo-détecteur qui sont fixés à la partie rigide, en regard de la deuxième extrémité.

Selon un deuxième mode de réalisation particulier du transducteur objet de l'invention, les moyens d'émission de lumière et les moyens de réception de lumière comprennent respectivement une première fibre optique apte à transmettre la lumière et à envoyer la lumière vers la deuxième extrémité et une

deuxième fibre optique apte à transmettre la lumière réfléchiée par cette deuxième extrémité.

Les moyens optiques de mesure de distance peuvent utiliser des faisceaux lumineux continus.

5           En variante, les moyens optiques de mesure de distance peuvent utiliser des faisceaux lumineux discontinus, en particulier des trains d'ondes lumineuses.

          Selon un mode de réalisation particulier de  
10 l'invention, les moyens pour plaquer les éléments émetteurs comprennent en outre une lame qui recouvre des deuxièmes faces des éléments émetteurs, la première extrémité de la partie mobile de chaque élément mécanique étant apte à presser des éléments émetteurs  
15 contre la surface de l'objet par l'intermédiaire de la lame, cette lame étant apte à répartir les forces exercées par les éléments mobiles sur les éléments émetteurs par l'intermédiaire de la lame.

          Selon un autre mode de réalisation  
20 particulier, les éléments émetteurs sont des éléments piézoélectriques rigides, emprisonnés dans un substrat souple qui est passif vis-à-vis des ultrasons.

          Dans ce cas, de préférence, le transducteur comprend en outre des lamelles dont le nombre est égal  
25 à celui des éléments émetteurs et qui sont fixées à la face du substrat souple qui est située en regard des éléments mécaniques, chaque lamelle étant en regard de la partie mobile de l'un de ces éléments mécaniques, la première extrémité de cette partie mobile étant apte à  
30 presser des éléments émetteurs contre la surface de

l'objet par l'intermédiaire de la lamelle en regard de laquelle elle se trouve.

## **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

5                    La présente invention sera explicitée à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

10                   - la figure 1 est une vue schématique d'un mode de réalisation particulier du transducteur objet de l'invention, utilisant des photo-émetteurs et des photo-détecteurs,

15                   - la figure 2 est une vue schématique et partielle d'un autre mode de réalisation particulier, utilisant des fibres optiques, et

                    - la figure 3 est une vue en coupe schématique d'un transducteur ultrasonore matriciel conforme à l'invention.

20

## **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

                    Le transducteur ultrasonore conforme à l'invention, que l'on va décrire en faisant référence à la figure 1, est un transducteur flexible et pourvu d'une instrumentation, qui est adapté au contrôle de pièces compactes, dont la forme est complexe et auxquelles il est difficile d'accéder.

30                   Ce transducteur incorpore des moyens de plaquage et des moyens de mesure de profil (capteur de relief).

Les moyens de plaquage assurent un couplage acoustique permanent des éléments émetteurs du transducteur avec la pièce à inspecter, au cours du balayage de celle-ci, tandis que des capteurs optiques  
5 individuels mesurent les positions de pistons à ressorts dont est pourvu le transducteur. Ces mesures permettent de déduire le profil de la pièce pour déterminer des lois de retard adaptées à cette pièce.

Afin de minimiser l'encombrement du  
10 transducteur et de le rendre préhensible, on a regroupé les moyens de plaquage et les moyens de mesure de la déformation de l'ensemble des éléments émetteurs au contact de la pièce. Le couplage de ces moyens permet d'intégrer, dans le volume restreint du transducteur,  
15 un nombre suffisant de capteurs optiques et des moyens électroniques adaptatifs.

La figure 1 est à comparer à la figure 4 du document [1] auquel on se reportera.

Dans l'exemple de la figure 1, on utilise  
20 un transducteur de type barrette linéaire, qui n'encaisse des déformations que dans le plan d'incidence des ultrasons, à savoir le plan (x, z) de la figure 1.

Ce transducteur comprend des éléments  
25 émetteurs-récepteurs d'ultrasons 2 formant un ensemble flexible et reliés, pour ce faire, par des moyens élastiques et flexibles 4.

Ces moyens 4, qui assurent la cohésion mécanique des éléments 2 et la flexibilité de  
30 l'ensemble de ceux-ci, peuvent par exemple être

- un câble, dans le cas d'un transducteur flexible à deux dimensions, ou

- un substrat en résine polymère, dans le cas d'un transducteur flexible à trois dimensions.

5 Plus généralement, comme cela est mentionné dans le document [1], on peut utiliser

- une lame de polymère piézoélectrique souple et un réseau d'électrodes juxtaposées, obtenues par dépôt métallique, ou

10 - un ensemble d'éléments piézoélectriques rigides, coulés dans un substrat souple, inerte vis-à-vis des ultrasons, ou

- un ensemble d'éléments ultrasonores rigides, assemblés mécaniquement de façon à obtenir une structure articulée.

15 Dans l'exemple de la figure 1, on utilise une barrette multi-éléments linéaire et déformable, connue, dont les éléments piézoélectriques 2 ont une forme trapézoïdale.

20 Pour maintenir ces éléments piézoélectriques 2 plaqués contre la pièce à contrôler 6, le transducteur comprend des pistons à ressort 8 et un clinquant métallique 10 qui constitue une lame-ressort. Cette dernière est placée sur l'ensemble des  
25 faces arrière des éléments 2, chacun de ceux-ci ayant une face avant, ou face active, qui est en contact avec la surface de la pièce à contrôler 6, l'ensemble des faces actives constituant une surface émettrice déformable.

30 Le clinquant métallique 10 répartit les forces verticales exercées par les pistons à ressorts

et permet aussi aux éléments 2 de s'incliner transversalement sans être bloqués par les pistons 8.

Le transducteur de la figure 1 comprend aussi un boîtier rigide 12 dont la barrette à éléments multiples est rendue solidaire. Ce boîtier 12 comprend un ensemble de trous parallèles 14, dont les axes sont coplanaires et dont le nombre est égal au nombre de pistons à ressorts.

Chaque piston à ressort 8 comprend une partie mobile 16, qui est apte à coulisser dans le trou correspondant, et un ressort 18 qui est traversé par cette partie mobile 16 et compris entre le boîtier 12 et l'extrémité 20 de cette partie mobile, qui est la plus proche des éléments 2.

Cette extrémité 20 est plus large que le reste de la partie mobile, pour retenir le ressort 18. De plus, cette extrémité 20 est arrondie, de préférence hémisphérique, comme on le voit sur la figure 1, pour optimiser la pression exercée sur les faces arrière des éléments 2 par l'intermédiaire du clinquant métallique 10.

Lorsque le transducteur est appliqué contre la pièce à contrôler 6, les ressorts 18 sont comprimés et ont donc tendance à éloigner les extrémités 20 du boîtier 12, de sorte que les éléments 2 sont en permanence maintenus plaqués contre la pièce 4.

Dans chaque trou 14 est placée une douille à billes 22, qui a le même axe que ce trou et dans laquelle coulisse la partie mobile 16 du piston correspondant à ce trou. Cette douille à billes 22 est destinée à améliorer le déplacement de cette partie

mobile dans le trou, de diminuer les frottements lors de ce déplacement et de supprimer le jeu entre cette partie mobile et le trou.

Les positions des éléments 2 par rapport à la pièce 6, au cours du déplacement du transducteur, sont déterminées par l'intermédiaire des pistons à ressorts.

Pour ce faire, la partie supérieure du boîtier 12 comporte une plaque (rigide) 24 qui ferme les extrémités supérieures des trous 14 et qui constitue une référence géométrique pour les mesures des positions des éléments 2. Dans chaque trou 14, on fixe à cette plaque 24 une diode électroluminescente 26 et un photodétecteur 28 dans une zone 29 de la plaque, située en regard de l'autre extrémité 30 de la partie mobile 16 du piston correspondant à ce trou.

Cette autre extrémité 30 est perpendiculaire à l'axe X qui est commun au trou 14 et à cette partie mobile 16 et elle est polie ou rendue réflectrice, par exemple polie, pour constituer un miroir. Ce miroir réfléchit une fraction d'un faisceau lumineux émis par la diode électroluminescente 26. La quantité d'énergie lumineuse réfléchie est une fonction décroissante de l'éloignement de la partie mobile par rapport à la diode électroluminescente 26.

Le faisceau lumineux réfléchi par le miroir est capté par le photo-détecteur 28 qui est placé à côté de la diode 26. Ce photo-détecteur fournit alors un photo-courant qui est fonction de la distance entre l'extrémité 30 de la partie mobile 16 et le photodétecteur (et donc la plaque 24) et, par

conséquent, de la position des éléments 2 par rapport à la partie rigide 12 (en connaissant la longueur des parties mobiles 16).

Des moyens électroniques programmables 32  
5 sont prévus pour commander les diodes électroluminescentes 26, pour numériser le photo-courant provenant de chaque photodétecteur 28 et pour convertir ce photo-courant en un déplacement.

Cependant, la courbe des variations du  
10 déplacement en fonction du photo-courant n'est pas linéaire de sorte qu'un étalonnage est nécessaire.

Cet étalonnage est réalisé lors d'une étape d'acquisition au cours de laquelle on mesure le photo-courant pour plusieurs positions calibrées de la partie  
15 mobile 16 de chaque piston 8, sur toute l'étendue de ce piston c'est-à-dire tout le déplacement possible pour ce dernier.

Après avoir calibré chaque photo-détecteur, on est donc capable de convertir le photo-courant  
20 mesuré en un déplacement.

Les positions respectives des photo-détecteurs par rapport aux faces arrière des éléments 2 étant connues, on reconstruit, par des méthodes d'interpolation, le profil décrit par ces faces arrière  
25 des éléments. Puis des opérations de projection fournissent les coordonnées de la surface de la pièce 6.

Plus précisément, les moyens 32 sont en outre prévus pour déterminer les positions des faces  
30 arrière des éléments 2 par rapport au boîtier rigide 12.

Des moyens de traitement auxiliaire 34 déterminent les positions des faces actives des éléments 2 par rapport au boîtier, en fonction des positions des faces arrière ainsi déterminées (voir document [1]).

Un bras mécanique articulé 36 permet d'obtenir la position et l'orientation du transducteur dans le repère fixe de la pièce à contrôler 6. Des capteurs 38, dont est muni le bras 36, permettent de situer ce transducteur dans l'espace et de mesurer son orientation au cours de son déplacement par rapport à la pièce 6, comme cela est indiqué dans le document [1].

Sur la figure 1, on voit aussi des moyens 40 qui, en fonction des positions fournies par les moyens 34 et en fonction de la position et de l'orientation fournies par les capteurs 38, déterminent les positions du transducteur par rapport à la pièce 6.

On voit aussi des moyens de commande et de traitement 42 prévus pour

- engendrer des impulsions d'excitation des éléments 2,
- établir, à partir des positions ainsi déterminées, des lois de retard permettant aux éléments 2 d'engendrer un faisceau ultrasonore focalisé F, dont les caractéristiques sont maîtrisées par rapport à la pièce 2, et
- appliquer ces lois de retard aux impulsions d'excitation.

Les éléments 2 fournissent alors des signaux aux moyens 42 également prévus pour former, à

partir de ces signaux, des images relatives à la pièce 6.

Ces images sont affichées sur un écran 44.

Comme cela est expliqué dans le document  
5 [1], on peut aussi utiliser des capteurs inertiels pour obtenir la position et l'orientation du transducteur.

Les diodes électroluminescentes peuvent être commandées de façon à émettre des faisceaux lumineux continus ou, au contraire, discontinus, en  
10 particulier des impulsions lumineuses.

Les moyens 32 peuvent être prévus pour interroger le photodétecteur 28 souhaité en commandant la diode électroluminescente correspondante.

La figure 2 est une vue schématique et  
15 partielle d'une variante du transducteur de la figure 1. Dans cette variante, des fibres optiques sont utilisées pour transmettre la lumière vers les deuxièmes extrémités respectives des parties mobiles des pistons et pour transmettre les lumières  
20 respectivement réfléchies par ces deuxièmes extrémités.

Dans l'exemple de la figure 2, les moyens 32 commandent une source lumineuse 46 dont la lumière est envoyée aux extrémités de fibres optiques 48, dont le nombre est égal à celui des pistons, par  
25 l'intermédiaire d'un coupleur optique 50. Les autres extrémités des fibres 48 débouchent respectivement dans les trous 14, comme on le voit sur la figure 2, pour pouvoir « éclairer » les extrémités réflectrices 30 des parties mobiles 16.

30 On peut aussi utiliser une source lumineuse par fibre optique.

On voit que chacune desdites autres extrémités des fibres est fixée à la zone 29 de la plaque 24, en regard de l'extrémité 30 correspondante.

On prévoit aussi d'autres fibres optiques 52, dont le nombre est égal à celui des fibres 48 et dont des extrémités, débouchent dans les trous 14, à côté des extrémités des fibres 48, et sont respectivement fixées aux zones 29, en regard des extrémités 30 correspondantes.

Les fibres 52 permettent de récupérer les lumières réfléchies par les extrémités réflectrices 30 des parties mobiles 16 et transmettent respectivement ces lumières à des photodétecteurs 54. Ces derniers engendrent alors des photo-courants qui sont transmis aux moyens 32.

Dans les exemples de l'invention, que l'on vient de décrire, les moyens de mesure de distance, permettant notamment de détecter des déplacements des pistons, sont des moyens optiques, permettant donc une détection optique de ces déplacements.

Cependant, ces moyens optiques peuvent être remplacés par des moyens magnétiques.

Dans un exemple non représenté, on remplace chaque ensemble diode 26-photodétecteur 28 de la figure 1 par un capteur à effet Hall et l'on fixe un aimant sur l'extrémité 30 de la partie mobile du piston correspondant.

Le capteur à effet Hall est ainsi apte à fournir un signal qui est fonction de la distance entre ce capteur et cet aimant. En remplaçant les moyens 32 de la figure 1 par des moyens appropriés de commande du

capteur et de traitement des signaux fournis par celui-ci, on est ainsi encore capable de mesurer la distance recherchée.

5 Dans une variante (non représentée) de cet exemple, l'aimant est fixé à la plaque 24, à côté du capteur à effet Hall, dans le trou 14 correspondant, et au moins l'extrémité 30 de la partie mobile de chaque piston est faite d'un matériau magnétique tel que l'acier.

10 Le champ magnétique détecté par chaque capteur est alors perturbé par l'extrémité 30 correspondante et le capteur fournit encore un signal qui est fonction de la distance entre cette extrémité 30 et de ce capteur.

15 En outre, les exemples de l'invention, que l'on a donnés, utilisent des éléments à la fois émetteurs et récepteurs d'ultrasons. L'homme du métier peut adapter ces exemples au cas de transducteurs comprenant des éléments seulement prévus pour émettre  
20 des ultrasons et d'autres éléments seulement prévus pour recevoir des ultrasons.

De plus, dans ces exemples, on utilise des transducteurs comprenant une barrette linéaire d'éléments ultrasonores mais l'invention n'est pas  
25 limitée à de tels transducteurs. De même que dans le document [1], l'homme du métier peut adapter les exemples donnés à des transducteurs matriciels.

Il faut alors associer des rangées parallèles de pistons à ressorts à un tel transducteur  
30 matriciel, ces rangées étant du genre de celle qui a été décrite en faisant référence à la figure 1, et

prévoir un clinquant métallique sur les faces arrière des éléments que comporte le transducteur.

On donne ci-après, en faisant référence à la figure 3, un autre exemple de l'invention qui est plus particulièrement utilisable dans le cas où les éléments ultrasonores forment non pas une rangée mais une matrice.

Le transducteur conforme à l'invention, que l'on voit en coupe sur la figure 3, comprend une matrice d'éléments émetteurs-récepteurs d'ultrasons 56 qui sont emprisonnés dans un substrat souple en résine 58, ce substrat étant passif vis-à-vis des ultrasons.

Pour maintenir les éléments piézoélectriques 56 plaqués contre une pièce à contrôler 60, qui est convexe dans l'exemple de la figure 3, le transducteur comprend un ensemble matriciel de pistons à ressort 62 et un boîtier rigide 64 dont le substrat souple 58 est rendu solidaire d'une manière qui sera expliqué par la suite.

Le boîtier 64 comprend un ensemble matriciel de trous parallèles 66 qui sont respectivement associés aux pistons à ressort. Chaque piston à ressort comprend une partie mobile 68, qui est apte à coulisser dans le trou correspondant, et un ressort 70 qui est traversé par cette partie mobile et compris entre le boîtier 64 et l'extrémité 72 de cette partie mobile, qui est la plus proche des éléments 56. Cette extrémité est arrondie, de préférence hémisphérique, comme dans le cas de la figure 1.

Des douilles à billes 74 sont encore prévues pour améliorer le déplacement des parties

mobiles 68 dans les trous correspondants 68 comme on le voit sur la figure 3.

Dans l'exemple de cette figure 3, les positions des éléments 56 par rapport à la pièce 60, au cours du déplacement du transducteur, sont déterminées par l'intermédiaire des pistons à ressort et, pour ce faire, chaque piston est associé à un capteur de position 76 comme dans l'exemple de la figure 1.

Dans l'exemple de la figure 3, il s'agit encore d'un capteur optique, comprenant un émetteur de lumière en direction du piston et un récepteur de la lumière réfléchi par l'extrémité arrière de la partie mobile 68 de ce piston, rendue réflectrice à cet effet.

De préférence, des lamelles 78 sont fixées à la surface supérieure du substrat souple 58, respectivement en regard des extrémités hémisphériques 72 des pistons, et forment ainsi un ensemble matriciel. Ces lamelles permettent de répartir les forces verticales exercées par les pistons à ressort. Ces lamelles forment de préférence de fins disques métalliques dont le diamètre est égal à celui des extrémités hémisphériques.

Le transducteur de la figure 3 comprend aussi quatre supports 80, qui forment par exemple des cornières et sont à 90° des uns des autres, seuls deux de ces supports étant visible sur la figure 3. Chacun de ces supports est rendu solidaire du substrat souple 58 par l'intermédiaire d'une tige 82 qui est articulée par rapport à ce support. Cette tige 82 est apte à coulisser dans un insert 84 qui est noyé dans le substrat souple en résine 58.

Chacun de ces supports 80 est en outre fixé à une extrémité d'un axe 86. L'autre extrémité de ces axes est apte à coulisser dans un trou 88 qui traverse le boîtier rigide, comme on le voit sur la figure 3. Ce trou est parallèle aux trous 66 dans lesquels coulisseraient les parties mobiles des pistons.

L'utilisation des tiges 82 coulisser dans les inserts 84 évite l'apparition de tensions latérales qui risqueraient de déchirer le substrat 58.

En outre, le système mécanique comprenant les supports 80, les tiges 86, les inserts 84, et les axes 82 permet d'empêcher toute rotation du substrat souple 58, et donc de l'ensemble des éléments 56.

Si on le souhaite, on peut mesurer le mouvement du substrat souple 58 par rapport au boîtier 64 au moyen de détecteurs de position 90, du genre des détecteurs 76, et permettant de mesurer la course des axes 86 qui permettent de maintenir le substrat souple.

Sur la figure 3, on voit aussi des ressorts 91 que traversent les tiges 86 et qui sont compris entre les supports 80 et le boîtier rigide 64.

On peut également associer à chacune de ces tiges 86 une autre tige 92 apte à coulisser dans le boîtier rigide 64, à travers une douille à billes 94, et fixée au support correspondant 80. Comme on le voit sur la figure 3, un ressort 96 est alors prévu, entre ce support 80 et le boîtier rigide 64, et traversé par cette autre tige 92.

Le boîtier rigide 64 peut être rendu solidaire d'un boîtier électronique 98 qui peut également servir de manche au transducteur. A la partie

supérieure de ce boîtier électronique 98, on voit des éléments 100 permettant à des câbles électriques (non représentés) de sortir de ce boîtier. Ces câbles permettent le transport de signaux fournis par le transducteur et par les capteurs de position 76.

A la base de ce boîtier électronique 90, on voit une embase 102 prévue pour recevoir des connecteurs électriques (non représentés), issus des différents éléments ultrasonores 56 et pour relier ces connecteurs à des moyens électroniques contenus dans le boîtier 98 et permettant de commander ces éléments 56 et de traiter les signaux fournis par ces derniers.

Les tiges 92, qui sont associées aux douilles à billes 94 et aux ressorts 96 pourraient être remplacées par de simples cornières fixées aux supports 80 et aptes à coulisser dans des trous prévus à cet effet dans le boîtier rigide 94.

Par souci de clarté, les diverses connexions électriques qui sont nécessaires au transducteur de la figure 3 ne sont pas représentées.

De même, les divers moyens de commande et de traitement de signaux, qui sont nécessaires au fonctionnement de ce transducteur, ne sont pas représentés. Ces moyens, qui correspondent à un transducteur matriciel, peuvent être déterminés par l'homme du métier, à partir des moyens du même genre qui ont été décrits en faisant référence à la figure 1, à propos d'un transducteur linéaire.

**REVENDICATIONS**

1. Transducteur ultrasonore de contact, à éléments multiples (2), ce transducteur étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (8, 10) de  
5 plaquage des éléments sur la surface d'un objet à contrôler (6) et des moyens (26, 28, 34, 36, 38, 40) de détermination des positions des éléments par rapport à l'objet, par l'intermédiaire des moyens de plaquage des éléments, et en ce que chaque élément (2) est au moins  
10 émetteur d'ultrasons et les éléments émetteurs (2) sont rigides et assemblés mécaniquement les uns aux autres de manière à former une structure articulée.

2. Transducteur selon la revendication 1, dans lequel le transducteur est déplaçable par rapport  
15 à l'objet à contrôler (6) et a une surface émettrice déformable qui est formée par des premières faces des éléments et destinée à être en contact avec la surface de cet objet et à partir de laquelle les ultrasons sont émis vers l'objet, des moyens de commande (42) étant  
20 prévus pour engendrer des impulsions d'excitation des éléments émetteurs, les moyens (26, 28, 34, 36, 38, 40) de détermination étant prévus pour définir les positions des éléments émetteurs d'ultrasons par rapport à l'objet au cours du déplacement du  
25 transducteur,

des moyens de traitement étant prévus pour  
- établir, à partir des positions ainsi déterminées, des lois de retard permettant aux éléments émetteurs d'engendrer un faisceau ultrasonore focalisé  
30 (F), dont les caractéristiques sont maîtrisées par rapport à l'objet, et

- appliquer ces lois de retard aux impulsions d'excitation,

des éléments récepteurs d'ultrasons, éventuellement constitués par les éléments émetteurs (2), étant destinés à fournir des signaux permettant la formation d'images relatives à l'objet,

les moyens (8, 10) de plaquage étant prévus pour plaquer les éléments émetteurs contre la surface de l'objet et les moyens de détermination étant prévus pour déterminer les positions des éléments émetteurs par rapport à l'objet par l'intermédiaire des moyens de plaquage des éléments émetteurs.

3. Transducteur selon la revendication 2, dans lequel les moyens pour plaquer les éléments émetteurs contre la surface de l'objet comprennent des éléments mécaniques (8), chaque élément mécanique comprenant une partie (16) qui est mobile par rapport à une partie rigide (12) du transducteur, une première extrémité de cette partie mobile étant apte à presser des éléments émetteurs contre la surface de l'objet,

et les moyens de détermination des positions des éléments émetteurs par rapport à l'objet comprennent

- des premiers moyens (26, 28, 34, 48, 52) prévus pour déterminer les positions des éléments émetteurs (2) par rapport à la partie rigide (12) du transducteur, par mesure de la déformation de la surface émettrice, et pour fournir des signaux représentatifs des positions ainsi déterminées, les premiers moyens comprenant

• des moyens (26, 28, 48, 52) de mesure de distance, prévus pour mesurer la distance d'une deuxième extrémité (30) de la partie mobile (16) de chaque élément mécanique (8) par rapport à une zone  
5 (29) de la partie rigide (12) du transducteur et

• des moyens (34) de traitement auxiliaire prévus pour déterminer les positions des éléments émetteurs par rapport à la partie rigide du transducteur, à partir des distances ainsi déterminées,  
10 - des deuxièmes moyens (36, 38) prévus pour déterminer la position et l'orientation de cette partie rigide (12) par rapport à l'objet et pour fournir des signaux représentatifs de la position et de l'orientation ainsi déterminées et

15 - des troisièmes moyens (40) prévus pour fournir les positions des éléments émetteurs par rapport à l'objet à partir des signaux fournis par les premiers et deuxièmes moyens.

4. Transducteur selon la revendication 3, dans lequel la première extrémité (20) de chaque partie mobile (16) est arrondie.  
20

5. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, dans lequel la partie rigide (12) du transducteur comporte des trous (14)  
25 parallèles, dans lesquels les parties mobiles (16) sont respectivement aptes à coulisser, et chaque élément mécanique comprend en outre des moyens élastiques (18) qui sont aptes à éloigner de la partie rigide la première extrémité de la partie mobile correspondant à  
30 cet élément mécanique.

6. Transducteur selon la revendication 5, dans lequel chaque élément mécanique comprend en outre, dans le trou qui lui correspond, un moyen (22) dans lequel est apte à coulisser, à faible frottement, la  
5 partie mobile de cet élément mécanique.

7. Transducteur selon l'une quelconque des revendication 3 à 6, dans lequel les moyens (26, 28, 48, 52) de mesure de distance sont prévus pour mesurer optiquement la distance de la deuxième extrémité (30)  
10 de la partie mobile (16) de chaque élément mécanique (8) par rapport à une zone (29) de la partie rigide (12), comprennent

- des moyens d'émission de lumière (26, 48) fixés à la partie rigide et prévus pour émettre une  
15 lumière vers cette deuxième extrémité, cette deuxième extrémité étant apte à réfléchir cette lumière, et

- des moyens de réception de lumière (28, 52) fixés à la partie rigide et prévus pour recevoir la lumière ainsi réfléchie, ces moyens de réception de  
20 lumière étant aptes à fournir des signaux représentatifs de la distance de cette deuxième extrémité par rapport à la zone correspondante.

8. Transducteur selon la revendication 7, dans lequel les moyens d'émission de lumière et les  
25 moyens de réception de lumière comprennent respectivement un photo-émetteur (26) et un photo-détecteur (28) qui sont fixés à la partie rigide (12), en regard de la deuxième extrémité (30).

9. Transducteur selon la revendication 7, dans lequel les moyens d'émission de lumière et les  
30 moyens de réception de lumière comprennent

respectivement une première fibre optique (48) apte à transmettre la lumière et à envoyer cette lumière vers la deuxième extrémité (30) et une deuxième fibre optique (52) apte à transmettre la lumière réfléchie  
5 par cette deuxième extrémité.

10. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel les moyens optiques de mesure de distance (26, 28, 48, 52) utilisent des faisceaux lumineux continus.

10 11. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel les moyens optiques de mesure de distance (26, 28, 48, 52) utilisent des faisceaux lumineux discontinus, en particulier des trains d'ondes lumineuses.

15 12. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 3 à 11, dans lequel les moyens pour plaquer les éléments émetteurs comprennent en outre une lame (10) qui recouvre des deuxième faces des éléments émetteurs, la première extrémité de la partie mobile de  
20 chaque élément mécanique (8) étant apte à presser des éléments émetteurs contre la surface de l'objet (6) par l'intermédiaire de la lame, cette lame étant apte à répartir les forces exercées par les éléments mobiles sur les éléments émetteurs par l'intermédiaire de la  
25 lame.

13. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 3 à 11, dans lequel les éléments émetteurs sont des éléments piézoélectriques rigides, emprisonnés dans un substrat souple qui est passif vis-  
30 à-vis des ultrasons.

14. Transducteur selon la revendication 13,  
comprenant en outre des lamelles dont le nombre est  
égal à celui des éléments émetteurs et qui sont fixées  
à la face du substrat souple qui est située en regard  
5 des éléments mécaniques, chaque lamelle étant en regard  
de la partie mobile de l'un de ces éléments mécaniques,  
la première extrémité de cette partie mobile étant apte  
à presser des éléments émetteurs contre la surface de  
l'objet par l'intermédiaire de la lamelle en regard de  
10 laquelle elle se trouve.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

2 / 3

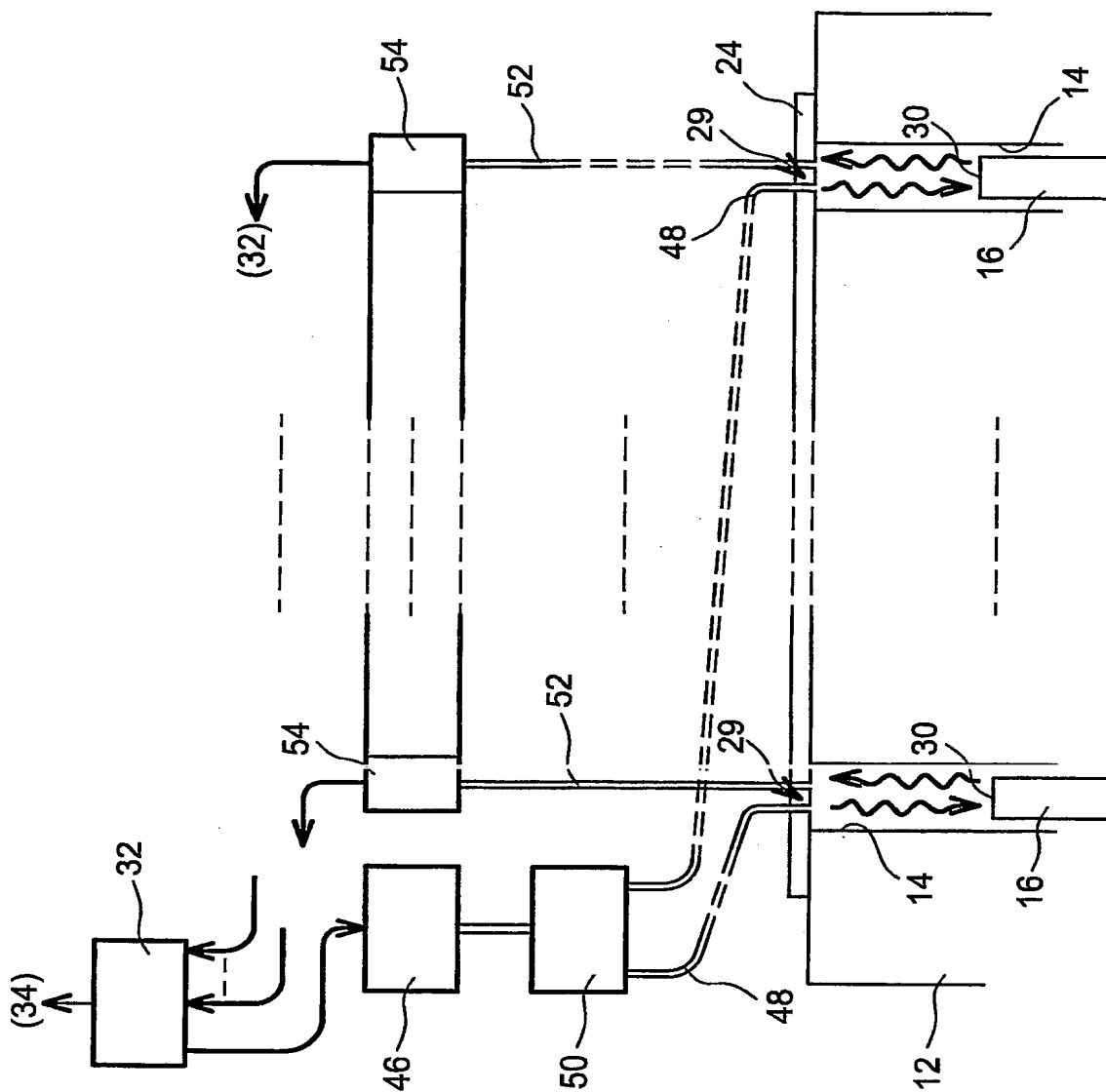


FIG. 2

2011/01/12 PAGE BLANK (USPTO)

3 / 3

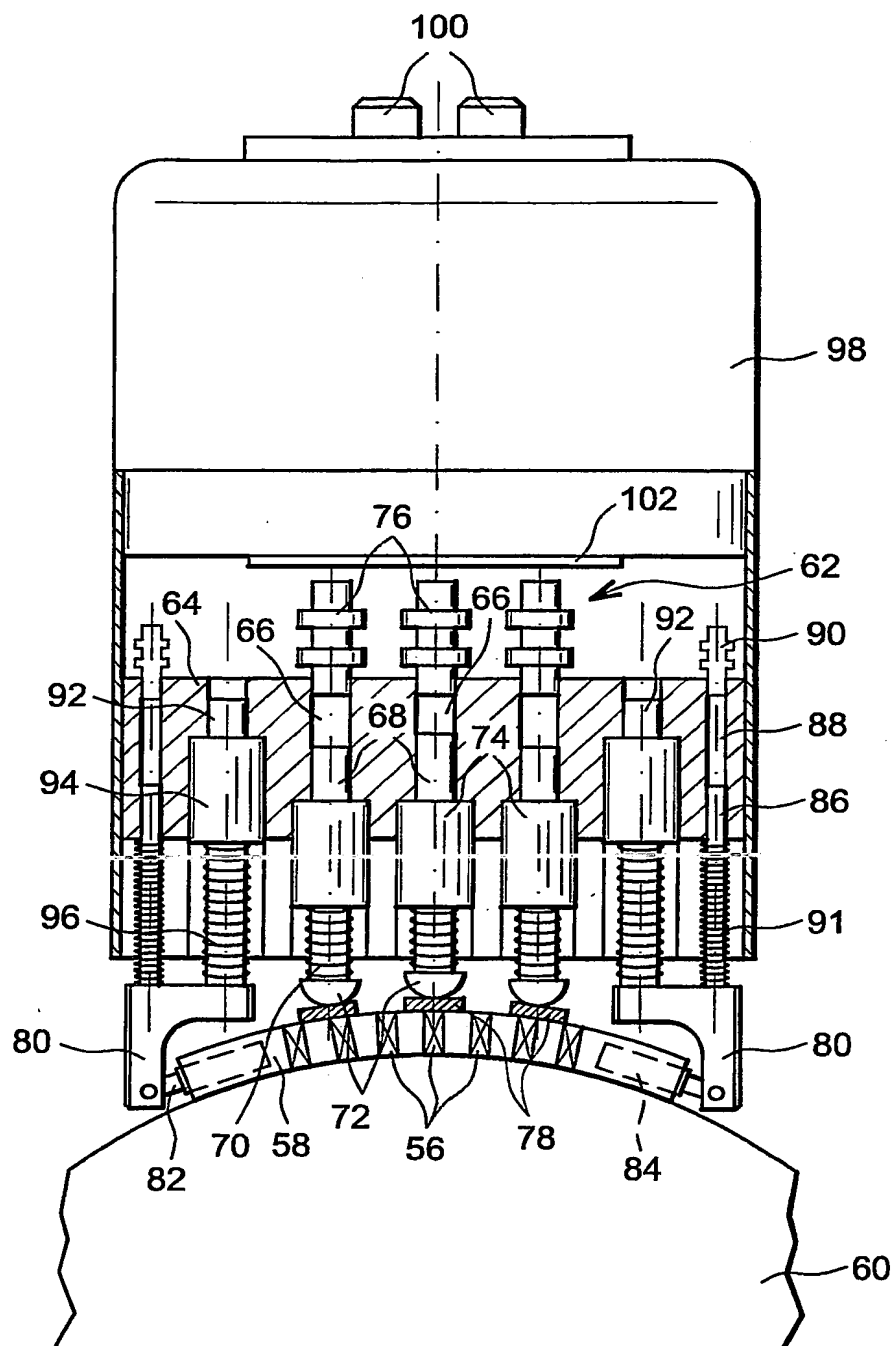


FIG. 3

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**